

10.14. ТРЕТМАН НА КРАЈОТ ОД ЖИВОТОТ НА ПОЛИМЕРНИТЕ КОМПОЗИТНИ МАТЕРИЈАЛИ **END OF LIFE TRETMENT OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS**

Винета Сребренкоска

Технолошко - технички факултет, Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Р. Македонија

Димко Димески

Технолошко - технички факултет, Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Р. Македонија

Силвана Крстева

Технолошко - технички факултет, Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Р. Македонија

10.14.1. Вовед

Introduction

Поради зголемување на еколошките барања, особено од аспект на крајното отстранување на искористените производи, производителите и дизајнерите во иднина мора да го земат предвид справувањето и отстранувањето на нивните производи. За конвенционалните материјали, како челик и алуминиум, постојат функционални методи за нивно рециклирање. Меѓутоа, ова не е случај со структурните полимерни композити, кои имаат сè поголема примена во голем број индустрии: автомобилската, градежната, индустријата за мебел, електроиндустријата, авионската и др.

Полимерните композитни материјали покажуваат одлична јакост и цврстина во комбинација со ниска густина. Овие својства се особено атрактивни кај структурните композити наменети за транспорт на стока и луѓе кои користат необновливи горива. Намалената тежина и непроменетиот капацитет за транспорт придонесуваат за намалување на вкупните трошоци и потрошувачката на гориво. Веќе неколку години композитите зајакнати со стаклени влакна се користат во производи како што се контејнери, јахти и за многу автомобилски делови. Додека пак, композитите зајакнати со јаглородни и арамидни влакна се користат за покомплексни апликации, како на пример, во авионската и во воздухопловната индустрија. За такви производи, барањата за намалување на тежината се уште поголеми, што ја оправдува повисоката цена на применетите зајакнувачки влакна. Денес, сè повеќе се зголемува притисокот врз производителите на материјали и на крајните производи да го земат предвид и влијанието што го имаат производите врз околината, почнувајќи од процесот на производство, циклусот на примена и крајното отстранување на производите. Зголемената употреба на композитните материјали во индустриското производство придонесува за создавање на уште поголеми количества отпад со кој ќе треба да се справиме во иднина. Исто така, за овој тип материјали постојат законски регулативи кои вршат притисок врз производителите да го земат предвид и третманот на отпадот. Примери за ова се забраните за депонирање, одговорноста на производителот за одредени групи производи, воведувањето даноци за спалување на отпадот и слично. Целта на сите овие регулативи е да се намали негативното влијание врз животната средина. За конвенционалните материјали, како челик и алуминиум, се применуваат добро познатите методи на рециклирање. Но тоа не е случај со полимерните композити. Рециклирањето на полимерните композити е комплициран процес, особено рециклирањето на термореактивните композити што е многу тешко или дури и невозможно. Исто така, сè уште не постои пазар за рециклирани композитни материјали. За да се формира пазар, неопходно е претходно да бидат исполнети неколку предуслови кои вклучуваат прашања поврзани со инфраструктурата, количеството материјали, технологијата за рециклирање и можните апликации. Сепак, сите овие предуслови сè уште не се исполнети,

иако е неопходно преземање акции заради исполнување на постојните и идните законски регулативи.

Полимерните композитни материјали се релативно нова група материјали и поради тоа обемот на нивната примена сè уште не е како на метални материјали. Бидејќи композитите се состојат од мешавина на неколку вида материјали, на макро ниво не може да се сметаат за хомогени како челичните материјали. Сите овие околности дополнително ги комплицираат можностите за формирање на добро организиран систем за постапување со отпадот.

Денес, за справување со отпадот од композити главно се користи депонирањето, но исто така, и спалувањето е можна алтернатива. За да можат компаниите да одговорат на еколошките барања на општеството и постојните регулативи, бараат нови методи за отстранување на отпадот при што ќе бидат земени предвид постојните техники за третман на отпад, постојните и очекуваните количества на отпад и законските регулативи. Во зависност од видот на отпадот, може да бидат вклучени различни процеси и затоа се неопходни информации за различните својства на отпадот. Притоа, неопходна е поврзаност меѓу различните чекори на управување со отпадот од искористените производи до нивното конечно справување. Целта е да се идентификуваат и да се поврзат потребните информации (својствата на отпадот) за секој чекор (процес) со цел да се спроведат релевантни процеси за третман на отпадот. Притоа, трошоците се анализираат од страна на самите производители на отпад, а ефектите врз животната средина се анализираат врз основа на процената на животниот циклус, LCA (life cycle assessment).

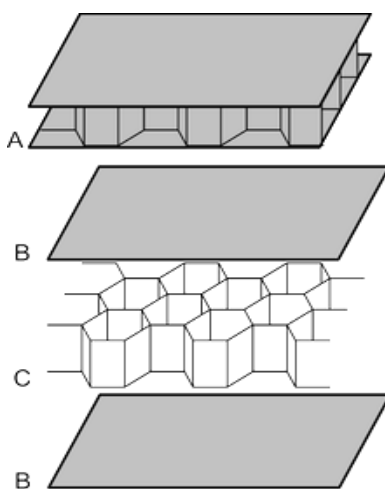
10.14.2. Полимерни композитни материјали

Polymer composite materials

Полимерните композити припаѓаат на релативно нова група на индустриски композити кои се во употреба повеќе од половина век. Со комбинирање на два материјала, влакна и матрица, се добиваат специфични производи со уникатни својства. Јакоста и цврстината се добиваат од зајакнувачот, односно влакната кои можат да бидат поставени случајно или ориентирани во континуирани и дисконтинуирани форми. Постојат многу материјали кои можат да се користат како зајакнувачи. Во технологиите на современите композити доминираат: стаклените, јаглородните и арамидните влакна. Матрицата која се наоѓа меѓу влакната е неопходна за нивното поврзување и го пренесува оптоварувањето меѓу влакната во сите насоки и меѓуслоеве. Исто така, матрицата ги заштитува влакната, кои се обично лесно кршливи, од абразија и корозија под дејство на надворешни влијанија. Атхезијата меѓу влакната и матрицата е многу важна за својствата на композитниот материјал. Со цел да се подобри атхезијата, влакната се третираат со примена на различни методи во зависност од видот на влакната. Двете најчесто користени методи се: примена на поврзувачки агенс (coupling agent) или оксидирање на површината на влакната.

Во зависност од применетиот материјал за матрица, полимерните композити се поделени во две групи: термопластични (thermoplastics) и термореактивни (thermosetting). Разликите меѓу овие две групи се објаснуваат со разликите во нивната хемиска структура. Кај термореактивните композити, во текот на процесот на добивање се формира тродимензионална мрежа од вмрежени полимерни синџири. Овој процес е неповратен, па поради тоа по вмрежувањето, кое најчесто се изведува на повисоки температури, тие стануваат крути, нетопливи и нерастворливи продукти. Термопластичните полимерни композити, пак, при загревање омекнуваат или се топат, а при ладење повторно се стврдуваат. Овој процес може да биде често повторуван, при што во полимерот не се случуваат никакви хемиски промени. Типични термопластични матрици кои се користат се: полиамидите, полипропиленот и поликетоните. Најчесто користени термореактивни матрици се незаситените полиестери, винилестерот, епоксидните и фенолите смоли. Заедно со опишаните составни материјали, во полимерните композити се додаваат и други супстанции,

адитиви. Целта на овие адитиви е подобрување на процесите на хемиска обработка и крајните својства на композитните материјали. При хемиските процеси на вмрежување се применуваат неколку адитиви, на пример, мономер (вмрежувачки агенс), иницијатори и акцелератори (забрзувачи). За незаситените полиестери најчест вмрежувачки агенс е стиренот. Други видови адитиви кои не се вклучени во процесот на вмрежување се полнителите кои влијаат на механичките својства, адитивите за подобрување на отпорноста од пожар и пигментите за обојување. За структури каде што се бара голема цврстина во комбинација со мала тежина, како алтернатива на композитите зајакнати со високо модулни влакна е примената на добро дизајнирани композитни сендвич-структури. Во споредба со структурите зајакнати со високо модулни влакна, кои се како единечна структура, алтернативните сендвич структури резултираат со зголемена флексибилна крутост (flexural rigidity) и намалена тежина, што всушност се должи на сендвич-ефектот. Поврзувањето меѓу надворешните површини (горната и долната, односно лицето) и јадрото е многу важно за сендвич структурата да ги поседува побаруваните својства. Кај сендвич-конструкциите, надворешните површини претставуваат полимерни композити кои можат да бидат врз основа на термореактивни или термопластични матрици. Основни материјали кои се користат како јадро се експандирани пени од поливинилхлорид (PVC), полиуретан (PUR), полистирен (PS), саќе од метал, хартија, дрво (балса), полипропилен (PP) и др. (слика 10.16.1).



Слика 10.16.1. Композитен сендвич панел (A) со јадро од саќе (C) и композитни надворешни слоеви (B)

Figure 10.16.1. Composite sandwich panel (A) with honeycomb core (C) and composite face sheets (B)

Главните предности на композитните материјали, во споредба со конкурентните и конвенционални инженерски материјали се следниве: мала тежина, висока специфична јакост и цврстина, добри својства на замор, отпорност на корозија, електрична изолација, звучна и топлинска изолација, лесни за дизајнирање комплексни форми, лесно одржување. Се разбира, постојат и одредени недостатоци, како што се, на пример, ниската температурна толеранција и високата цена. Меѓутоа, карактеристично е тоа што сите презентирани предности се во зависност од изборот на конститутивните материјали и од применетиот метод на производство и доколку не се направи правилен избор, крајниот резултат може да биде незадоволувачки.

Неколку методи за производство на полимерни композитни материјали се достапни и применливи, а изборот зависи од видот на материјалот (термореактивен или термопластичен), обликот, перформансите и бројот на производни единици. За производство на големи количества производи, задолжителни се автоматизирани процеси со висока продуктивност.

Една производна техника која се применува често е пресувањето во калап, а добиените композитни делови наоѓаат широка примена во автомобилската индустрија, како панели, спојлери, браници и внатрешни делови за автомобили, автобуси и камиони. Најчесто користени материјали за изработка на композитни панели за горенаведената намена се: стаклените влакна како зајакнувачка фаза, разни полнители и незаситен полиестер како матрица и тоа во форма на ленти за пресување (SMC-Sheet Moulding Compound) и прес маси (BMC - Bulk Moulding Compound). Користењето влакна со високи перформанси, како што се јаглеродните влакна, резултира со добивање композити со помала тежина, а со примената на таквите композити во дизајнот на возилата доаѓа и до заштеда на горивото. Во рамките на проекти финансирани од ЕУ за развој на современи композитни материјали наменети за автомобилската индустрија, развиени се полимерни композити зајакнати со јаглеродни влакна кои овозможуваат намалување на тежината за околу 50% и намалување на големината на деловите за 30% во споредба со еквивалентните челични конструкции (Reinforced Plastics, 2004). Друга производна техника која се користи за добивање композити е обликувањето со пренос на смола (RTM - Resin Transfer Molding), што всушност, претставува затворен метод кој обезбедува намалување на емисиите за време на процесирањето. Ова е многу често применувана техника која се користи за производство на полимерни композитни материјали кои најчесто се применуваат за подови во автомобилската индустрија. На сликата 10.16.2 е претставен пример за примената на композитите зајакнати со јаглеродни влакна во автомобилската индустрија. Каросеријата на автомобилот „Volvo 3CC “ (Volvo Electric Concept Car) е произведена од композитен материјал зајакнат со јаглеродни влакна добиен како целосен дел - оклоп. Внатрешните делови се главно произведени од термопластична матрица, најчесто полипропилен, зајакната со стаклен мат. Меѓутоа, последните години сè повеќе се користат природните влакна како лен, коноп, сисал и кокос како зајакнувачки материјал за изработка на внатрешните делови на возилата. Како пример може да се наведат композитите врз основа на влакна од банана кои биле применувани за надворешни делови, од страна на Daimler Crysler (слика 10.16.2).



Слика 10.16.2. Примери на примена на композити зајакнати со влакна од банана во Mercedes A класа и композити зајакнати со јаглеродни влакна во Airbus 380 и Volvo 3CC

Figure 10.16.2. Examples of application of composites reinforced with banana fibers in Mercedes A class and carbon fiber composites in Airbus 380 and Volvo 3CC (Global composites, 2005 <http://www.globalcomposites.com/>)

Високо перформансните композити се изработуваат за примена во авионската индустрија, наменската индустрија и за спортски апликации. Најчесто, високо перформансните композити се врз основа на јаглородни влакна и епоксидни матрици, при што зајакнувачкиот материјал прво се импрегнира и се добива препрег, а конечниот материјал, односно композитот, се добива со пресување на препрегот. Примери на производи од високо перформансни композити се крилата од авионите, каде што со примена на композитните материјали тежината е намалена за околу 30%. На пример, во Airbus 380, трупот на авионот е произведен од композити зајакнати со јаглородни влакна (слика 10.16.2). Вкупно 25% од структура на овој авион е направена од композитни материјали од кои 22% се врз основа на јаглородни влакна. Примената на високо перформансни композити за спортски апликации, вклучува палки за голф, скии за на снег, штици за сурфање, велосипеди и рекети за тенис и др. Композитите врз основа на полиестерски матрици зајакнати со стаклени влакна се применуваат широко, а една од нивните апликации е за изработка на чамци. Методите кои се користат за нивно производство се главно со рачно нанесување или со распрскување (hand lay-up и spray-up). За изработка на чамци, бродови и др. се користат и композитни структури во форма на сендвич-конструкции. Инјективното обликување под вакуум (Vacuum Injection Molding) претставува техника која, исто така, се применува за производство на композитни материјали. Овој метод е затворен и ги исполнува еколошките барања во врска со ослободувањето штетни материји. Производителите на чамци ја користат оваа техника, која овозможува подобрување на работните услови, а исто така, резултира со повисок квалитет на конечниот производ. Примери за други апликации на структурните полимерни композити се мостовите, контејнерите, панелите за градење, цевките и садовите под притисок и друго. Апликации, каде што структурните својства не се од примарен интерес, може да се најдат во електричната и во електронската индустрија. На пример, електричните изолациони својства на композитите се искористени во електричните кола, кутиите со електрична опрема и каблите.

10.14.2.1. Животниот циклус на производите од полимерни композити Product life cycle of polymer composite products

Полимерните композитни материјали поседуваат многу поволни својства ако е направен правилен избор на конституентите и е користен соодветен метод на производство. Главно својство кое го поседуваат е ниската густина, а истовремено поседуваат висока специфична јакост и цврстина. Најголемата област на апликација на композитните материјали се транспортните средства, вклучувајќи ги возилата за копно, на море и во воздух. Бидејќи, најголемиот дел од трошоците и влијанието врз животната средина е предизвикано при употребата на транспортните средства, основна цел е да се намали нивната тежината. Ниската структурна тежина може да биде искористена во форма на зголемен транспортен капацитет, подолги транспортни растојанија или помала потрошувачка на гориво. Тоа ќе резултира со намалени трошоци и намалено влијание врз животната средина. Неколку студии за животниот циклус на производите ја покажуваат предноста на полимерните композити во споредба со другите структурни материјали. Во едно истражување (Astrom, 1997), направена е споредба на три различни структурни материјали во текот на нивниот животен циклус, а тие материјали биле применувани во високо брзински фериботи. Испитуваните материјали биле челик, алуминиум и сендвич-конструкција од композити зајакнати со јаглородни влакна. Во анализата и споредбата биле вклучени и трошоците и потрошувачката на енергија во текот на животниот циклус на испитуваните материјали. Со примена на сендвич-конструкцијата, тежината на фериботот била намалена за 30% во споредба со примена на челикот за истата цел, а тоа резултирало со намалување на потрошувачката на енергија и трошоците во текот на животниот циклус за 20%. Извршената анализа покажала дека композитната структура е најдобриот избор од економски аспект во текот на животниот циклус. Сепак, потрошувачката

на енергија е малку повисока за производство на композитна структура во споредба со таа од алуминиум. Тоа се должи на големата потрошувачка на енергија за производство на јаглородните влакна. Исто така, направени биле и други истражувања за компаративна проценка на животниот циклус (LCA) и тоа за труп изработен од алуминиум во однос на труп направен од сендвич-структура зајакната со стаклени влакна, а применети во конструкција на брод (Astrom et al., 1997). Анализите јасно покажале дека сендвич-структурата е подобрата алтернатива бидејќи има многу помал процент на влијание врз животната средина во текот на целокупниот животен циклус. Главно, ефектите врз животната средина се најголеми во употребата односно оперативната фаза на производите во однос на сите други ефекти кои се генерираат во другите фази од животниот циклус на производите, како што се производството и отстранувањето. Кога станува збор за автомобилите, околу 80% од вкупниот ефект врз животната средина потекнува од нивното возење, а останатите проценти отпаѓаат на процесите на производство на материјалите и производите и третманот на отпадот (Baumann et al., 2002). Од аспект на анализите на животниот циклус на производите, се преферира употреба на полимерни композитни материјали во однос на другите структурни материјали. Во следните неколку анализи на животниот циклус се презентирани неколку полимерни композитни материјали кои се користат во автомобилската индустрија. Едно истражување било направено преку споредување челични плочи со превлака од цинк со композити врз основа на термопластична матрица зајакната со стаклен мат (GMT), кога истите се применуваат како делови имплементирани во предниот дел на автомобилите (Derosa et al., 2005). Со примената на композитната алтернатива, тежината е намалена за 40%, што резултира со 50% намалување на влијанијата врз животната средина во споредба со истите делови изработени од челик. Друг пример е примената на челик, алуминиум и композитен материјал добиен од ленти за пресување (SMC) за изработка на капак (хауба) кај автомобилите. Исто така, и тука малата тежина на композитниот материјал дава најмало влијание врз животната средина. Како трет пример биле споредувани различни видови полимерни композити, термопластични и терморективни, зајакнати со континуирани стаклени влакна, стаклен мат и композити добиени од ленти за пресување, а сите применети за изработка на автомобилски предници. Било заклучено дека делот изработен од композит врз основа на термопластична матрица, зајакната со стаклен мат, има најниска тежина, а со тоа и најмало влијание врз животната средина (Schmidt et al., 2004; Henshaw et al., 1996). Во последните години е зголемен интересот за користење природни влакна, како замена за стаклени влакна, бидејќи природните влакна имаат помала густина и потекнуваат од обновливи извори. Во однос на ефектите врз животната средина, композитите зајакнати со природни влакна нудат повеќе придобивки и можат да се користат за одредени апликации, како на пример, за изработка на автомобилски делови (Satish et al., 2004). Од сите претходно наведени анализи, кои се однесуваат на целокупниот животен циклус на производите, може да се заклучи дека полимерните композитни материјали се особено корисни поради нивната мала тежина.

Следниот чекор во врска со горенаведените анализи од аспект на целокупниот животен циклус на производите е да се интегрираат специфичните барања во однос на еколошките перформанси при дизајнот на производите (life cycle design - LCD). Кога станува збор за крајно отстранување на композитните делови имплементирани во автомобилската и друга индустрија, потребно е да се направи ефикасна анализа за примена на соодветната техника за третман при што ќе се земе предвид еколошкиот аспект. Таквиот метод за краен третман на искористените композитни делови треба да претставува комбинација на анализите за животниот циклус (LCA) со економските анализи. Најдобрите алтернативни решенија за повеќето композитни делови се рециклирањето на материјалите и можностите за обновување на енергијата. Механичкото рециклирање на материјалите е најдобриот избор за деловите, кои лесно се демонтираат.

10.14.2.2. Методи за третман на крајот од животот: моментална состојба за третманот на отпадот од композитните материјали

Methods of end of life treatment: state of the art of treatment of waste from composite materials

Како резултат на зголемените барања за заштита на животната средина (врз основа на постојните законски регулативи) и зголемената општествена свест, во иднина неопходно е производителите да го земат предвид и крајното отстранување на нивните производи и третманот на отпадот. Ова е особено важно за производите кои содржат композитни материјали бидејќи најчесто се смета дека овие материјали не можат да бидат рециклирани. Композитните материјали зајакнати со влакна претставуваат група материјали со хетерогена содржина. Покрај разните типови влакна и полимерни матрици, исто така се додаваат и разни додатоци, а кај композитните сендвич-структури станува збор за уште покомплексна мешавина од материјали. Познавањето на точната содржина е особено важно за рециклирање на материјалите и за производство на високо квалитетни материјали. Направени се бројни истражувања за можните техники за отстранување на отпадот од композитни структури. Сепак, како што е веќе споменато во погоре наведениот текст, депонирањето е најчест метод за отстранување на отпадот. Денес, депонирање органски отпад на депониите е забрането во неколку европски земји, а наскоро тоа ќе биде случај и во другите земји од Европската унија, во согласност со директивите на ЕУ (Council directive, 1999). Во Јапонија е создадена комисија кој се фокусира само на рециклирање на отпадот од термореактивни композити, бидејќи тој се смета за голем проблем. Биле направени голем број анализи за определување соодветни методи за рециклирање, а особено за рециклирање на термореактивните композити, со цел да се определат можностите за соодветен третман и истовремено да се задоволат барањата на законодавството (Astrom, 1997; Henshaw et al., 1996; Simmons, 1999; Derosa et al., 2005). За да се добие рециклиран материјал со добар квалитет особено важен е процесот на дробење односно мелење, кој во зависност од видот на композитниот материјал, може да биде оптимизиран. Постојат следниве видови композитен отпад:

- Отпад од производните процеси, кој го сочинуваат:
 - отпад при производство на основните конститuentи,
 - отпад при производство на производот,
 - шкартни производи.
- Отпад од искористените производи - го сочинуваат производите или дел од производите кои не ја исполниле својата оригинално планирана функција.
- Отпад кој се произведува при одржување на производите.

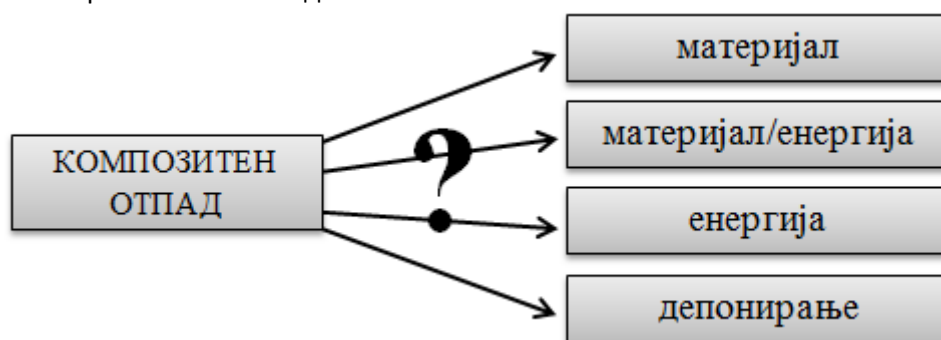
За секој специфичен процес потребно е да се дефинираат својствата на отпадот кои со самиот процес на негов третман претставуваат едно единство (слика 10.16.3). Кога станува збор за третман на отпад од искористени производи, тогаш заедничките својствата на отпадот што е потребно да се познаваат се исти за секој процес, а тоа се:

1. Потребни информации за видот на влакната (FIB);
2. Содржината на опасни материји (HAZ) - во текот на овие процеси на обработка на отпадот можно е отстранување опасни материји. Како резултат на ризиците за работната средина, неопходно е да се подготват различни типови на заштита;
3. Податоци за содржината, типот и локацијата на присутните метални компоненти (MET);
4. Големина на отпадот (SZE).



Слика 10.16.3. Дефинирање на процесот и на својствата како единство
Figure 10.16.3. Defining the process and properties as a unity

Врз основа на резултатите од бројните спроведени истражувања, како и искуството од индустриските апликации, при справувањето со отпадот од композитни материјали зајакнати со влакна, е развиен генерички модел. Овој модел, во иднина ќе го олесни планирањето со справувањето со отпадот од композитни материјали. Моделот нуди корисни информации за производителите на производи и отпад, како и за купувачите на отпадот. Како што е прикажано на слика 10.16.4, основното прашање што се поставува тука е: кои фактори влијаат врз изборот на третманот на отпадот?



Слика 10.16.4. Опции за краен третман (третман на крајот од животот) на композитните материјали
Figure 10.16.4. Options for end of life treatment of composite materials

Голем број од постојните алтернативи за третман на отпадот од композити зајакнати со влакна, резултираат со создавање материјали и/или обновување на енергијата. Методите коишто можат да се применуваат за третман на композитниот отпад се поделени во следниве групи:

- повторна употреба;
- механичко рециклирање на материјалите;
- обновување на енергијата;
- рециклирање на материјалите и енергијата или хемиско обновување.

10.14.2.3. Фактори кои влијаат врз третманот на композитниот отпад Influencing factors on the treatment of composite waste

Постојат неколку фактори кои влијаат врз изборот на третманот на отпадот од композитни материјали. Овие фактори се поделени во две групи: внатрешни и надворешни фактори (Astrom et al., 2004), како што е прикажано на слика 10.16.5. Внатрешните фактори се директно поврзани со карактеристиките на отпадниот материјал и процесите за негово третирање. Тие се поделени во две групи и тоа, својства на отпадот и својства на процесот. Факторите, кои пак, индиректно влијаат на третманот на отпадот, се надворешни фактори, и се поделени во две групи: законодавство и пазар.

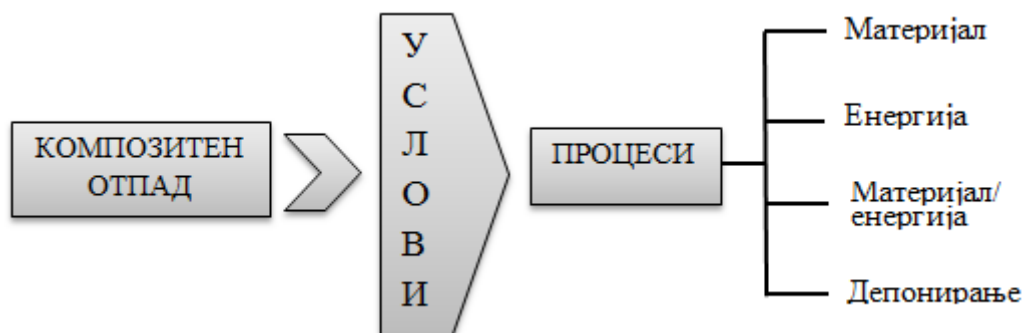


Слика 10.16.5. Поделбата на факторите кои влијаат врз крајниот третман на композитниот отпад

Figure 10.16.5. Division of the influencing factors on the final treatment of composite waste

Производителите на одредени производи многу често ги набавуваат основните конститутивни материјали од добавувачи. Поради оваа причина производителите имаат мало познавање на точните својства на материјалите кои го сочинуваат производот. Најмалку се познаваат својствата на материјалите при третман на искористените производи, затоа што, во тој случај производите се ситнат, се сечат и се дробат (демонтираат) по одредено време од нивната употреба најчесто на друго место (во друга компанија и сл.), а не таму каде што е произведен производот и примарно користен. Купувачите на отпад треба да ги познаваат процесите и соодветните својства со цел да се справат со отпадот. Во производството (претпријатија со заокружен циклус на производство) примачот/купувачот на отпад може да биде истата организација која го произведува отпадот. Тоа се производствени процеси од затворен цикличен тип. Во овој случај, производителот на материјали или на производи го рециклира отпадот и повторно го враќа назад во производниот циклус. Од друга страна, производителот може да го испорача произведениот отпад на друга фирма за третман, што зависи, пред сè, од ситуацијата на пазарот за рециклирани материјали.

Врз основа на внатрешните фактори може да се направен општа анализа (модел) за оценување на можните методи за рециклирање и за (материјално/енергетско) обновување на отпадот. Особено се важни својствата на отпадот, бидејќи тие го идентификуваат отпадот, а со тоа го контролираат и неговиот третман во иднина. Еден модел за третман на композитниот отпад е презентираан на сликата 10.16.6, каде што во зависност од расположивите опции за справување се избираат голем број процеси што се користат за добивање материјал, енергија, материјал/енергија или, како крајно решение, депонирање. Условите на третманот на композитниот отпад се поставени врз основа на потребните процеси и нивните карактеристики кои се во комбинација со информациите за својствата на отпадот. На пример, карактеристики на процесот кои треба да ги знаеме со цел да се постигне скратување на процесот на сечење се: капацитетот, големината на искористениот производ, тврдоста на сечилото итн. Овие особини треба да бидат во корелација со својствата на отпадот вклучувајќи информации за видот на материјалот, големината, металните додатоци итн.



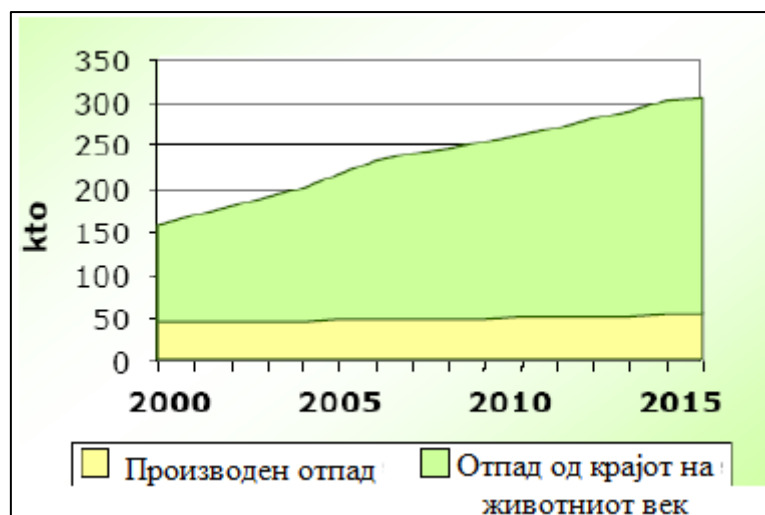
Слика 10.16.6. Модел за третман на композитниот отпад
Figure 10.16.6. A model for treatment of composite waste

Релевантните својства на композитниот отпад се наведени подолу, при што секое својство е претставено со негова соодветна кратенката и единица мерка:

1. *Конститутивни материјали*, тип на влакна (FIB), матрица (MTX), полнител (FIL), јадро (CORE) во волумен [m^3] и / или тежина [kg].
2. *Опасни супстанции и перформанси*, (HAZ), тип, и износ во [kg] и позиција.
3. *Анализа на хемиска содржина*, (CHEM), во [%] тежински.
4. *Метална опрема и инсертирани делови*, (MET), тип на метал и позиција.
5. *Големина*, (SZE), дадена во волумен [m^3] и / или тежина [kg].

Ознаките за својствата на композитниот отпад ќе бидат користени и во натамошниот текст кој се однесува на третман на композитен отпад. Производителот на отпад не може да влијае на надворешните фактори во иста мера како на внатрешните својства. Сепак, надворешните фактори може да влијаат на создавањето мислење во однос на регулативите преку создавање побарувачка за специфични методи на третирање, како и комуникацијата со државните органи. Во групата на надворешни фактори спаѓаат пазарот и регулативите. За да се воспостави адекватен пазар, неколку фактори се од особено значење, а тоа се: количеството отпад, инфраструктурата (транспорт, складирање и др.), трошоците и апликациите. За да се гарантира висок квалитет и пристап до материјалите, особено е важно обезбедувањето стабилен и доволен проток на материјали. Ова е исто така важно од економски аспект. На сликата 10.16.7 е претставен отпадот што се создава при производството, како и отпадот од искористени производи за различни видови полимерни композити (<http://www.smc-alliance.com/>, 2005).

Инфраструктурата, транспортот и справувањето со отпадот се важни фактори за намалување на трошоците. Исто така, се препорачува да се изврши намалување на големината, сечењето и ситнењето на отпадот пред неговото транспортирање. Ова ќе резултира во ефективен транспорт од економски и од еколошки аспект.



Слика 10.16.7. Генерирање композитен отпад во Западна Европа
 Figure 10.16.7. Generating composite waste in Western Europe (<http://www.smc-alliance.com/>, 2005)

Важноста на системите за ефективно собирање на отпадот се посочува во една статија за истражување на животната средина и економските перформанси на мобилните телефони (Clift, 1998; Weaver, 1994). Во оваа студија, извршена е споредба на телефони произведени од обновени делови и рециклирани материјали во однос на телефони произведени од примарни (основни) материјали. Врз основа на двете анализи, резултатот бил дека влијанието врз животната средина е помало при производство на телефони произведувани со примена на рециклирани материјали, но цената е повисока во однос на телефоните произведени од примарен материјал. Ова се објаснува со високите трошоци за нивно собирање и демонтажа. Рециклираниот материјал, за да биде ефикасен, потребно е да биде споредлив во однос на примарниот материјал, се разбира од економски аспект. Овој факт се споменува и во статијата за мобилни телефони (Clift, 1998): *„Потценувањето на основните ресурси од страна на индустриите го прави неекономично повторното користење и рециклирањето на материјалите и покрај еколошките бенефиции“*. Сепак, добро е познато дека во рециклирањето се вклучени процесите на расклопување и демонтажа, за кои е потребно вложување поголем труд отколку при процесите на производство на основните материјали. Исто така, условите во работната средина при процесите на рециклирање се полоши. Овие околности силно придонесуваат за зголемување на трошоците за рециклирани материјали. Освен регулативите за отпад кои се однесуваат на надворешната средина треба да се земат предвид и регулативите кои се однесуваат на работната средина. Проблеми во однос на работната средина може да настанат во голем број од презентираниите процеси за третман на отпадот. Ова се однесува особено на процесите каде што материјалот се обработува механички, како што се процесите на демонтажа, сечење, дробење и мелење. Во текот на овие процеси може да се случи изложеност на честички од матрица, влакна, основни јадра, остри влакна, чад, гас и бучава. Исто така, постои ризик од несреќи кои може да се случат при работа со опремата. Постојат голем број законски регулативи за управување со отпадот кои влијаат на индустријата за композитни материјали. Главните три директиви на ЕУ се (Council directive, 1999):

- за депонирање на отпадот 99/31/ЕС;
- за спалување на отпадот 2000/76/ЕО;
- за искористени возила 2000/53/ЕС;

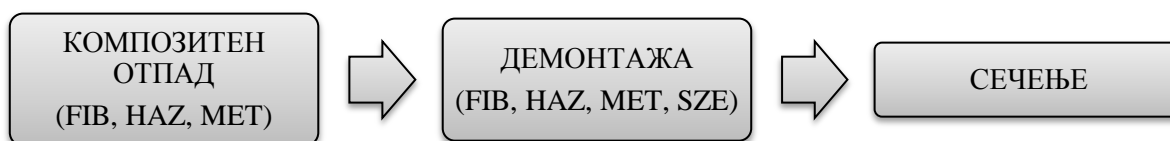
За да се задоволат овие регулативи, создаден е концепт за управување со отпадот од композитни материјали под името „Зелена етикета“ во рамките на Европската компанија која

нуди услуги за рециклирање на композитите (European Composite Recycling Services Company (ECRC)). Ова е резултат од соработката на Европските производители на пластики зајакнати со влакна со Европската асоцијација за композити (European Composites Association (EuCIA)). Компаниите што произведуваат композити можат да влијаат на внатрешните фактори со што имаат значителен удел во контролата, но немаат големо влијание на надворешни фактори.

10.14.2.3.1. Повторна употреба

Reuse

Повторната употреба е метод кој може да се примени за композитите врз основа на термопластична матрица бидејќи тие можат да се топат и да се преобликуваат. Меѓутоа, повторното топење предизвикува деградација на матрицата која мора да се земе предвид, иако голем број истражувања покажале дека со преобликувањето на термопластичните композитни материјали доаѓа до подобрување на нивните својства, како резултат на подобрената импрегнација (Henshaw et al., 1996; Astrom, 1997). Повторната употреба, исто така, е можна за голем број композитни сендвич-структури, вградени во автомобили, бродови, контејнери и др., бидејќи може да се отсечат големи делови од нив. Овој метод е применлив за композитни делови кои може повторно да се употребуваат за одредена апликација по нивната поправка. Шемата за повторна употреба е прикажана на сликата 10.16.8. Третманот почнува со демонтажа на металните инсерти, електричните кабли и другите уреди заедно со опасните материи, коишто се присутни во концентрирана форма и во боја. Потоа, материјалот се сече на делови со соодветна големина за повторна употреба во помали контејнери. Во зависност од типот на композитниот отпад, процесот на демонтажа може да се изостави, а во тој случај отстранувањето на металните инсерти може да се направи во текот на процесот на сечење.



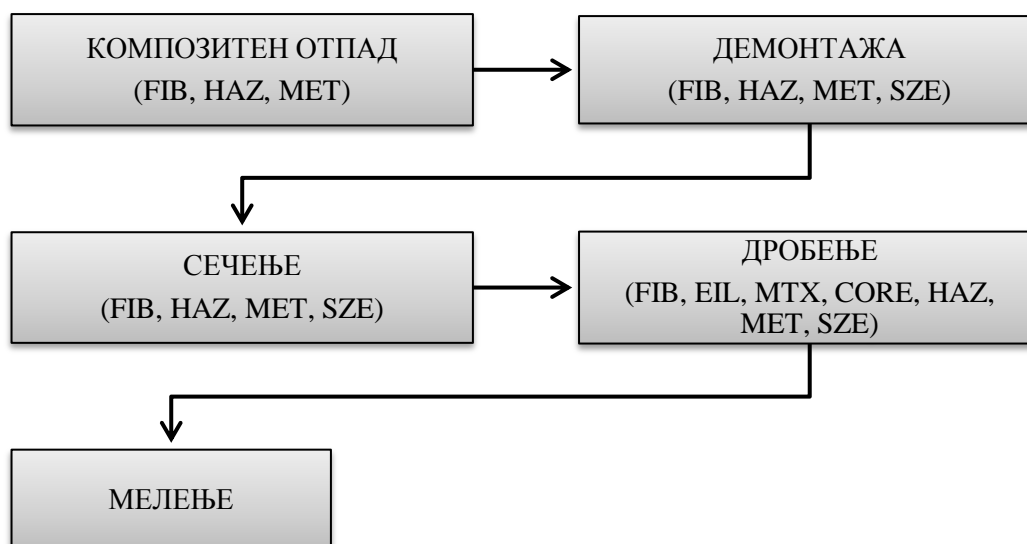
Слика 10.16.8. Шематски приказ за повторна употреба на композитниот отпад

Figure 10.16.8. Schematic representation for reuse of the composite waste

10.14.2.3.2. Механичко рециклирање на материјалите

Mechanical material recycling

Механичкото рециклирање на материјалите е еден од најпознатите методи, а исто така и единствениот комерцијално експлоатиран метод за рециклирање на полимерните композити. Генерално, овој метод вклучува серија механички процеси, како што се сечење, дробење, кинење, ситнење и мелење, кои резултираат со намалување на големината на материјалот, чекор по чекор. Со цел да се минимизира употребата на ножевите, потребно е да се отстранат металните компоненти од материјалот пред ситнењето или мелењето. По обработката, материјалот може да биде сортиран во неколку фракции, кои варираат од прав до влакна со различни должини, а кои може да се користат како полнители или зајакнувачи. Шематски механичкото рециклирање на материјалите е претставено на сликата 10.16.9 и почнува со демонтажа како подготовка пред натамошната обработка на отпадот. Ако отпадот содржи опасни елементи, кои не можат да се уништат, тогаш отпадот не треба да се обработува дополнително, со цел да се избегне ризикот од нивно ширење во природата.



Слика 10.16.9. Шематски приказ за механичко рециклирање на материјалите
Figure 10.16.9. Schematic representation of mechanical recycling of materials

Демонтажа (Демонтирање) - овој процес се користи за неколку третмани со цел да се подготват материјалите за натамошна обработка. При третман на искористените структури, особено различните типови на сендвич-структури, големите метални инсерти и електрични кабли мора да бидат отстранети пред процесот на сечење или дробење за да се избегне оштетување на опремата. Неопходно е познавање на позициите на металните инсерти. Искористените производи често се третирани површински со боја. Содржината на бојата треба да биде позната бидејќи тоа може да содржи опасни елементи. Со цел да се продолжи со механичкото рециклирање на материјалите, бојата мора да се отстрани. Исто така, компонентите кои содржат опасни елементи може да се отстранат преку демонтирање. Друго важно прашање е ризикот од формирање опасни гасови при загревање на материјалите во текот на механичката обработка, како сечење, дупчење или мелење.

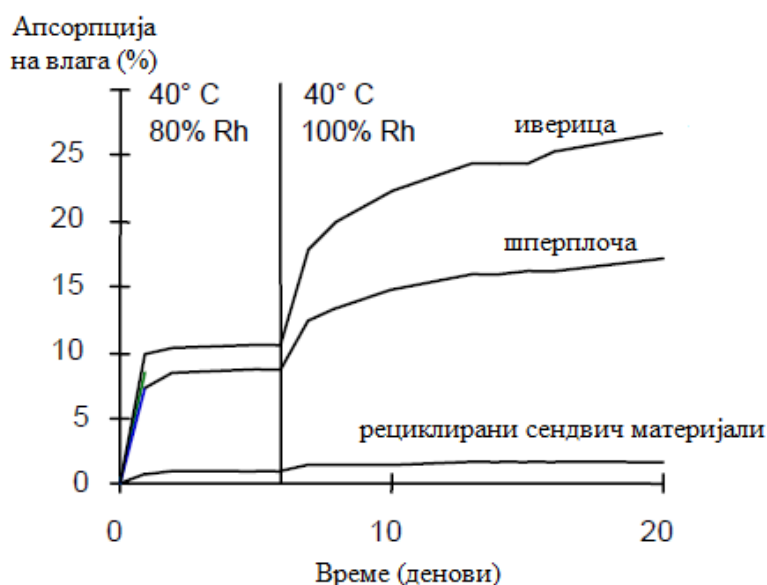
Сечење - е процес кој главно се применува за големи структури со примена на адекватна опрема за сечење. Со оваа опрема структурата се сече на парчиња со помали димензии со цел да се добијат структури со соодветна големина за процесите што следуваат. Потребно е познавање на оригиналната и на конечната големина. Во текот на овој процес, исто така, може да се отстранат металните инсерти, опасните материји во концентрирана форма и други несакани предмети. При овој процес, исто така, неопходно е познавање на содржината на опасните супстанции од истите причини како и за демонтирањето. За планирање на процесот на сечење на композитните материјали зајакнати со влакна, потребно е познавање на типот на влакната кои се користат како зајакнувачи.

Распарчување, раскинување, дробење - овој метод се применува по сечењето, со цел натамошно намалување на големината на отпадот. Барањата за влезната големина зависат од типот на опремата која се користи при процесот на распарчување и вообичаено е околу $(1 \times 1) \text{ m}^2$. Како и при процесот на сечење, важни се информациите за типот на влакната. Дробењето може да се направи со неколку типови на уреди. Не е дозволено присуство на големи метални делови. За да се процени ризикот од аспект на работната средина важно е познавањето на количеството опасни материји.

Мелење - материјалот дополнително се обработува за намалување на големината до честички со димензии од неколку милиметри. Конститутивните материјали мора да бидат познати во цел да се приспособи гранулаторот или мелницата. Не е дозволено присуство на метални делови, како и на опасни елементи, кои може да имаат негативно влијание врз животната средина. Во зависност од видот на гранулаторот, влезната големината варира.

Комплетен концепт за рециклирање на термореактивните композитни материјали бил развиен од страна на германската фирма ERCOM во 1991 година, а рециклираниот материјал се користел за производство на автомобилски делови, телефонски говорници, киосци, кутии за кабли и слично (Weaver, 1994). Отпадните композитни делови биле собрани и транспортирани до централната фабрика за преработка, каде што истите биле дробени и ситнети, а металните делови биле отстранети со примена на магнетни и гравитациски сили. Биле произведени осум различни фракции на материјали, од прав до влакна со должина од неколку милиметри, кои можеле да се користат при производството на нови композитни материјали како замена за примарните полнители и влакнести зајакнувачи. За жал, активностите биле прекинати бидејќи процесот не бил економски одржлив. Слични методи за рециклирање на отпадот од производството на композитни материјали биле користени и во Франција од страна на компанијата Meselec – компанија која се занимава со производство на композитни отпресоци кои се применуваат во автомобилската и електричната индустрија (Weaver, 1995). Исто така, постојат и други компании во други земји во Европа и во САД кои ги рециклираат композитните материјали и го користат рециклираниот материјал за нови производи. Притоа, рециклираниот материјал се меша со основниот материјал, при што се добива композитна маса што се користи за производство на нови композитни материјали. Во текот на последната деценија, квалитетот и техничките перформанси на механички рециклираниот материјал се доста истражувани и испитувани во рамките на разни проекти. Рециклираните термореактивни композити се користат за производството на SMC, BMC и за композити врз основа на термопластична матрица зајакната со стаклен мат (GMT). Еден пример за нивна апликација е имплементирање на тој композитен материјал при производството на чамци (Simmons, 1999) каде што 40% тежински од вкупната композитна структура се состои од рециклиран материјал. Генерално, кога рециклиран материјал се користи како замена за основниот материјал, неговите механички својства, како што се цврстина и јакост, се намалени. Ова е потврдено преку бројни истражувања каде што двата основни конститутивни материјали, полнители и влакна, се заменети со рециклиран материјал, а содржината на рециклираниот материјал е до 30% мас. (Marsh, 2001; Derosa et al., 2005). Доколку основните материјали (полнителот и зајакнувачит) се заменат со 20% теж. рециклиран материјал, би се добил SMC композит со помала тежина и споредливи механички својства во однос на оригиналниот композит (Marsh, 2001). Една од причините за намалување на својствата на рециклираниот материјал е тоа што при самиот процес на рециклирање материјалот е изложен на механичко третирање: дробење, сечкање, мелење и сл., а тоа може да влијае на целокупната композитна конструкција, на матрицата, влакната како и на интерфејсот меѓу влакната и матрицата. Во една статија (Derosa et al., 2005a), направени се микрографски анализи на BMC композити кои содржат рециклиран материјал и врз основа на тие анализи, констатирано е дека намалувањето на својствата е резултат од намалената адхезија меѓу рециклираниот материјал и матрицата. Намалување на механичките својства е, исто така, констатирано и при рециклирањето композити врз основа на термопластична полимерна матрица полиестер етер кетон (PEEK), зајакната со кратки јаглородни влакна (Sarasua et al., 1997). Притоа, биле испитувани фрактурните површини пред и по процесот на обработка (мелење), а анализите покажале деградација и на двете компоненти: влакната и матрицата. Исто така, извршени се испитувања за рециклирање на полимерни композитни сендвич-структури (Tornsten et al., 1993; Astrom et al., 1997). По механичката обработка, односно дробење и мелење на комплетната сендвич-структура, добиениот материјал се комбинира со нова матрица и потоа се формираат нови композитни плочи. Овие рециклирани сендвич-материјали се споредувани со иверица и со шперплоча со споредливи механички својства, во однос на апсорпцијата на влага (слика 10.16.10), при што е добиено дека рециклираната структура има многу мал процент апсорбирана влага во споредба со другите два материјала. Механичкото рециклирање на материјалите генерално е испитувано во однос на композитниот отпад добиен од производството, бидејќи за овој материјал генерално не е

потребна површинска обработка и е ослободен од нечистотии, а исто така, овој материјал не е под влијание на процесот на стареење, како производите кои се користат во текот на неколку години. Искористените производи може да содржат опасни материји, како што се тешките метали, кои не треба да се користат понатаму за производство на нови производи. Справувањето со отпадот од искористените композитни производи е потешко во споредба со композитниот отпад кој се создава при самиот процес на производство. Првите процеси кои се применуваат за справување со искористените производи се демонтиража, сечење и /или дробење. За производниот отпад овие процеси не се секогаш потребни со исклучок на некои производи и компоненти кои вклучуваат големи метални инсерти и други уреди. Направените испитувања покажале дека рециклираните материјали од производниот отпад и од искористените производи се материјали кои можат да се користат за натамошна употреба. Но рециклираниот отпаден материјал од искористените производи се препорачува да се употребува во апликации со пониски барања во однос на јакоста на оригиналниот материјал.



Слика 10.16.10. Рециклирани сендвич-производи во споредба со шперплоча и иверица
Figure 10.16.10. Recycled sandwich products compared with plywood and chipboard (Astrom et al., 1997)

Механичкото рециклирање на материјалите генерално е испитувано во однос на композитниот отпад добиен од производството, бидејќи за овој материјал генерално не е потребна површинска обработка и е ослободен од нечистотии, а исто така, овој материјал не е под влијание на процесот на стареење, како производите кои се користат во тек на неколку години. Искористените производи може да содржат опасни материји, како што се тешките метали, кои не треба да се користат понатаму за производство на нови производи. Справувањето со отпадот од искористените композитни производи е потешко во споредба со композитниот отпад кој се создава при самиот процес на производство. Првите процеси кои се применуваат за справување со искористените производи се демонтиража, сечење и /или дробење. За производниот отпад овие процеси не се секогаш потребни со исклучок на некои производи и компонентите кои вклучуваат големи метални инсерти и други уреди. Направените испитувања покажале дека рециклираните материјали од производниот отпад и од искористените производи се материјали кои можат да се користат за натамошна употреба. Но рециклираниот отпаден материјал од искористените производи се препорачува да се употребува во апликации со пониски барања во однос на јакоста на оригиналниот материјал.

За композитниот отпад добиен при самото производство, намалувањето на механичките својства може да биде поврзано со процесите кои доведуваат до оштетувања на влакната. За отпадот од искористените производи, најчесто се испитува деградацијата на матрицата и присуството на нечистотии. Најчесто нечистотиите може да бидат прифатени без да предизвикаат значително намалување на механичките својства. Додека, при повеќекратно рециклирање на композитните структури (на пример, термопластична матрица зајакната со стаклени влакна може да биде инјективно обликувана четири пати) доаѓа до постепено намалување на јакоста и на модулот по секоја постапка на рециклирање (Krishan et al., 1998; Marsh, 2001).

10.16.2.3.3. Обновување на енергијата

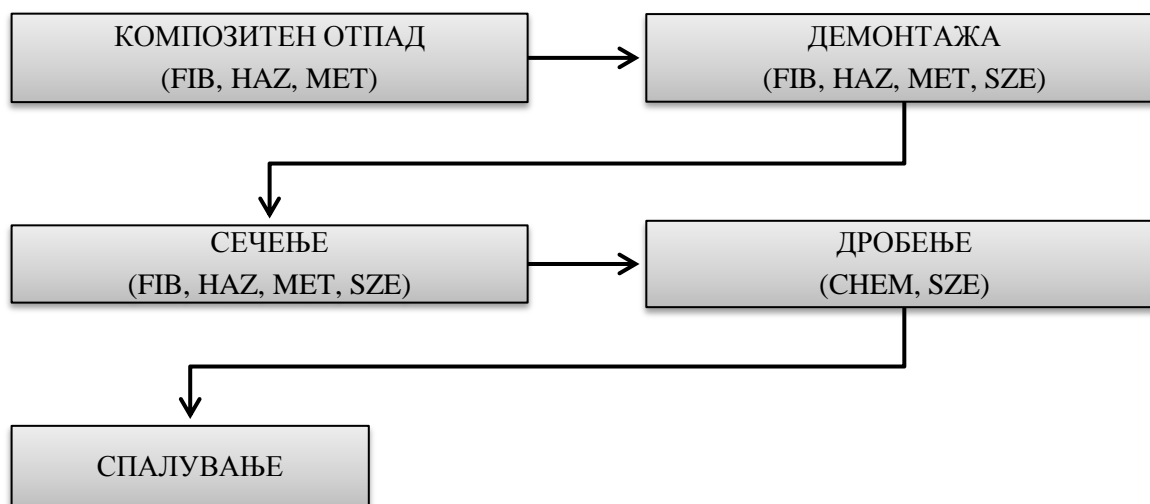
Energy recovery

Многу применувана техника за третман на отпадот е спалување и искористување на создадената топлина или само намалување на обемот на отпад. Полимерните композити претставуваат значителен извор на енергија. Но содржината на енергија зависи од видот на композитниот материјал. Кај полимерните композити, кои содржат неоргански материјали (стаклени влакна и полнители), содржината на енергија е пониска, а со тоа содржината на пепел е повисока. Спалувањето претставува процес во кој отпадот се изложува на горење, а енергијата од процесот на спалување на композитите се трансформира во топлина или електрична енергија. При испорака на отпадот, купувачот на отпад е должен да има информации за количеството на отпад. За работата на секоја фабрика за спалување постојат прописи, кои се во зависност од типот на дозволения отпад и специфичните барања од аспект на ослободените гасови. Фабриката е должна да го контролира добиениот отпад со цел да ги исполни законските регулативи. Шематски процесот на спалување е прикажан на сликата 10.16.11. Пред спалување на големи структури, потребно е да се изврши нивна монтажа, сечење и дробење. За спалување на полимерните композитни материјали потребно е да се знае следното:

- Отпадот кој има висока содржина на стаклени влакна може да предизвика проблеми;
- За отпадот кој содржи јаглеродни влакна особено е важно да се намали големината, горењето да биде на висока температура и да се контролира снабдувањето со кислород за да се обезбеди ефикасно спалување;
- При спалувањето отпад кој содржи PVC, мора да се земе предвид формирањето диоксин и хлороводородна киселина;
- Тешките метали, особено бакарот, дејствуваат како акцелератори за диоксин реакцијата.

Извршени се бројни истражувања од страна на Волво за да се утврди обновувањето на енергијата при спалувањето на различните композити кои се користат во автомобилската индустрија. Во истражувањата на Волво направена е класификација на додатоците во композитите заедно со проценка на животниот циклус LCA на емисиите од процесот на спалување. Врз основа на добиените резултати се препорачува мешање на композитниот материјал (10% мас.) со обичниот отпад, како градежниот или комуналниот отпад, за да се запазат дефинираните ограничувања во однос на емисијата и да се подобри техниката на расклопување на електричните кабли, гумата и содржината на хлор во пластиката.

Постојат бројни дискусии за тоа дали е оправдана инсертирањето на SMC композитните материјали поради високата содржина на пепел (70-80%) и ниската вредност на топлината, која е пониска од топлинската вредност на комуналниот отпад (Schmidt et al., 2004; Henshaw et al., 1996).



Слика 10.16.11. Шематски приказ за обновување на енергијата преку спалување на композитниот отпад

Figure 10.16.11. Schematic representation of energy recovery by incineration of composite waste

10.16.2.3.4. Комбинација на рециклирање на материјалите и обновување на енергијата или хемиско обновување

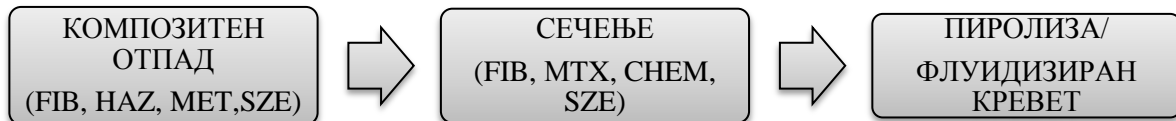
Combination of material recycling and energy recovery or chemical recovery

Целта на овие методи е да се отстрани матрицата, со цел да се ослободат влакната и да се изврши нивно рециклирање. Во процесот на хемиско обновување, полимерните молекули се деполимеризираат до супстанции со пониска молекуларна тежина кои може да се искористат за производство на нови полимери или како гориво за топлина или производство на електрична енергија. Предноста на овие методи во споредба со механичкото рециклирање на материјалите е во тоа што влакната може да се сочуваат непрекинати во поголем степен. Постојат голем број различни техники (Henshaw et al., 1996). Пиролизата и хидрогенизацијата се термички методи кои резултираат со создавање јаглеводороди и/или нафтени фракции, додека хидролизата, алкохолизата и гликолизата се хемиски методи при кои полимерните синџири се разградуваат до мономери.

Главна пиролизата и флуидизираната подлога се најчесто применуваните методи за рециклирање/обновување на полимерните композити. **Пиролизата** претставува термички процес на обработка, кој се изведува во отсуство на кислород, каде што матрицата се трансформира во хемиски компоненти, а влакната се ослободуваат. Важни карактеристики за процесот пиролиза се: температурата од 450-550°C, влезната големина на композитниот отпад и излезните гасови. Постојат повеќе индустриски постројки во целиот свет за третман на искористените гуми. Термичкото разградување на органската материја се одвива во отсуство на кислород што резултира со создавање течни (нафта) и гасни (јаглеводородни) компоненти кои може да се користат како гориво. Гасните компоненти, исто така, може да се користат за производство на нови хемикалии. **Флуидизирана** подлога е процес на термичка обработка при кој се користи матрица за добивање енергија додека влакната се отстрануваат и се транспортираат со флуидизираниот воздух. Температурата на третманот најчесто е 450 - 550°C, а зависи од видот на влакната и од нивниот хемиски состав, кој треба да е познат за да се процени содржината на димните гасови. Барањата за големината на отпадот зависат од големината на опремата.

Шемата за рециклирање на материјалите со примена на пиролиза и флуидизирана подлога е претставена на сликата 10.16.12, а почнува со сечење на материјалите во парчиња со соодветна големина. За да се избегнат проблемите при процесот на сечење потребно е да се

познава локацијата на големите метални инсерти и другите делови, иако тие нема да предизвикаат проблеми при термичкиот процес. Пред процесот на термичка обработка мора да биде оценет составот на материјалите кој е од особено значење за овој процес. Температурата на процесот зависи од типот на полимерниот композит. По термичката обработка, се врши одделување на металните делови за рециклирање и останатите влакна кои може дополнително да бидат обработени. Во зависност од капацитетот на погонот за процесирање, можеби ќе биде потребно натамошно намалување на големината на отпадот, што се постигнува со негово дробење.



Слика 10.16.12. Шематски приказ за рециклирање на материјалите со примена на пиролиза и флуидизирана подлога

Figure 10.16.12. Schematic representation for recycling materials using pyrolysis and fluidized bed

Истражувањата за пиролизата на SMC композитните материјали на неколку температури (De Marco et al., 1997; Torres, 2000; Cunliffe et al., 2003) покажале дека:

- погодни температури се од 400°C до 500°C;
- рециклираните влакна може да се користат повторно за BMC композити, што резултира со споредливи својства во однос на тие од оригиналните BMC композити;
- гасните фракции се доволни за производство на енергија во процесните погони;
- 40% од течните компоненти може да се користат како гориво, а останатите 60% може да се користат заедно со маслата за гориво.

Соодветни резултати се добиени од испитувањето на пиролизата на полиестер зајакнат со стаклени влакна (GRP) (Cunliffe et al., 2003). Притоа, 20 % мас. од оригиналните стаклени влакна биле заменети во BMC композитната маса со рециклирани влакна.

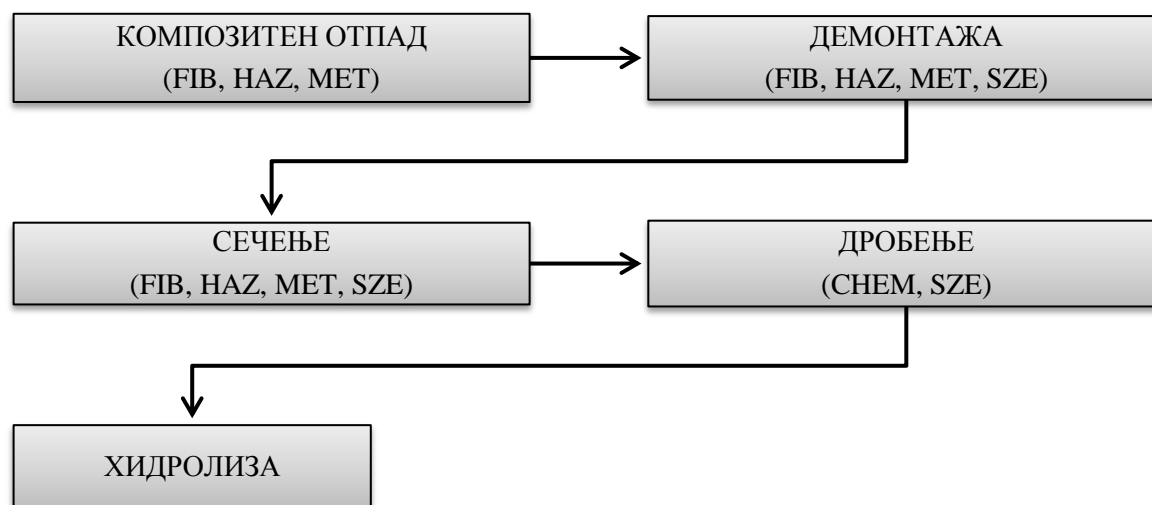
Добар пример за овој процес на третирање на отпадот од полимерни композити, кој претставува комбинација од рециклирање на материјалите и обновување на енергијата, претставува третманот на композитниот отпад од елиси на ветерници. По намалувањето на големината на таквите композити, истите се ставаат во комора, каде што матрицата се разложува на 500°C, а потоа се става во комората за дополнително согорување до 1000°C при што се произведува енергија. Материјали кои остануваат во комората се: влакната, полнителите и металите (слика 10.16.13), кои понатаму се рециклираат. Влакната може да се користат како изолационен материјал или како кратки влакна за производство на нови композитни производи.



Слика 10.16.13. Од елиса на ветерница до влакна, полнители и метали

Figure 10.16.13. From rotor blade to fibre, filler and metal (Henshaw et al., 1996)

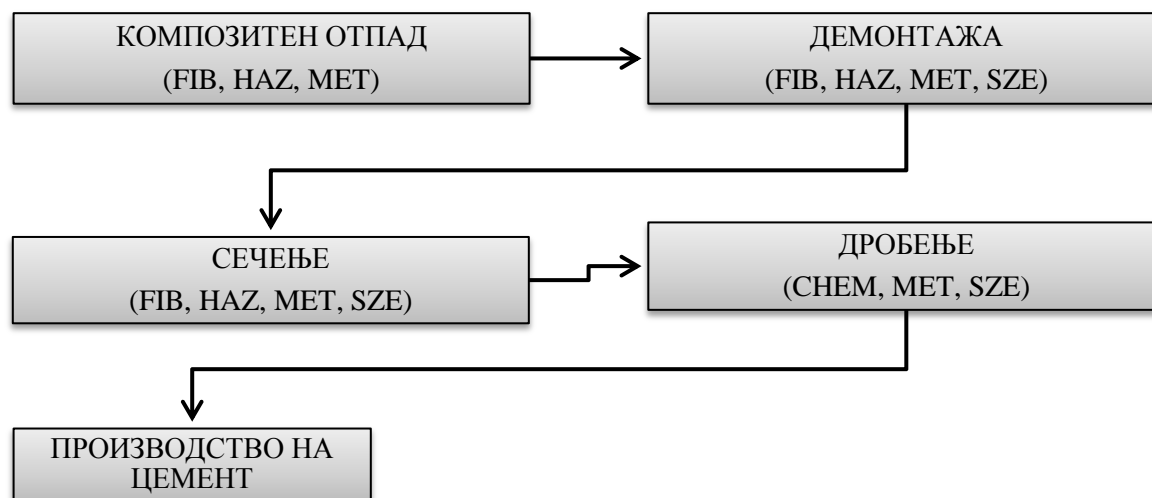
Компанијата Adherent Technologies Inc. (ATI) има развиено комерцијално достапна техника (пиролиза при ниска температура) за рециклирање на јаглеродните влакна. Процесот се одвива во реактор на температура под 200°C, а во присуство на катализатор. Испитувањата на влакната покажале дека не постои никакво оштетување по рециклирањето, додека механичките тестови покажале 9% намалување на јакоста во споредба со основните влакна (Torres A, 2000). Предностите на овие методи во споредба со механичкото рециклирање на материјалите се во тоа што должината на влакната може да се сочува непрекината во поголем степен и влакната не се механички оштетени, така што поголем дел од нивната оригинална јакост може да се искористи. Исто така, не е потребно отстранување на металните делови пред третманот во споредба со механичкото рециклирање. Во структурните композити, како што се сендвич-конструкциите, се користат експандирани пени од полиуретан (PUR) и поливинилхлорид (PVC) како материјал во средината на сендвич-структурата. Хидролизата за обновување на PUR пените била истражувана од страна на Ford и General Motors во 1970-тите (Henshaw et al., 1996). Овој процес доста се применува и за обновување на пенести материјали, особено од PVC. Преку процесот на хидролиза, хлорот од PVC се трансформира во чиста сол (NaCl). Шематски тоа е прикажано на сликата 16.14 и почнува со демонтажа, сечење и дробење. За процесот на хидролиза, хомогеноста на големините е важна за ефективна реакција. Влакната остануваат како цврст остаток, кој дополнително се процесира за производство на енергија и други материјали во зависност од нивниот состав. Исто така, и за овој процес е потребно познавање на хемискиот состав на отпадот, бидејќи самиот процес се одвива при повисоки температури. Важни карактеристики за процесот на хидролиза се: температура до 260°C, големина околу 0,02 x 0,02 m и излезните гасови.



Слика 10.16.14. Шематски приказ за хидролиза на сендвич со PVC јадро
Figure 10.16.14. Schematic representation of hydrolysis of sandwich structure with PVC core

Производство на цемент - претставува уште еден процес на термичка обработка и претставува комбинација од рециклирањето на материјалите и обновување на енергијата (слика 10.16.15). Матрицата се користи за обновување на енергијата, додека влакната се користат како сировина при производството на цемент. Овој метод почнува со процесот на демонтажа, со отстранување на металните инсерти и другите делови проследен со примена на процеси на сечење и дробење. Карактеристично за овој метод е тоа што не е дозволено присуство на метални елементи во процесот и не се користи отпад кој содржи PVC. Постојат, исто така, и специфични барања за намалување на големината на материјалот до некаква униформност, (потребна големина: 90% > 0.01 m, 100% < 0.05 x 0.05 x 0.02 m) со цел да се зголеми

реактивната површина на материјалите, а со тоа и ефикасноста на самиот процес. Во производство на цемент стаклените влакна и полнителите се користат како замена за основните сировини глина и варовник. Полимерната матрица го заменува горивото во енергетскиот процес каде што треба да се постигне температура до 2000°C.



Слика 10.16.15. Шематски приказ за користење на полимерниот композитен отпад при производството на цемент

Figure 10.16.15. Schematic representation of using polymer composite waste in cement production

10.16.3. Прашања Questions

1. Колку видови композитен отпад постојат?
2. Набројте и објаснете ги факторите кои влијаат врз изборот на третманот на отпадот од композитни материјали?
3. Кои својства се важни за композитниот отпад?
4. Објаснете ги методите кои се користат за третман на композитниот отпад?

10.16.4. Прашања/Одговори Questions/Answers

1. Колку видови композитен отпад постојат?

Постојат следниве видови композитен отпад:

- Отпад од производните процеси, кој го сочинуваат:
 - отпад при производство на основните конституенти,
 - отпад при производство на производот,
 - шкартни производи.
- Отпад од искористените производи - го сочинуваат производите или дел од производите кои не ја исполниле нивната оригинално планирана функција.
- Отпад кој се произведува при одржување на производите.

2. Кои својства се важни за композитниот отпад?

За секој специфичен процес е потребно да се дефинираат својствата на отпадот кои претставуваат единство со самиот процес на негов третман. Кога станува збор за третман на отпад од искористени производи, тогаш заедничките својствата на отпадот коишто е потребно да се познаваат се исти за секој процес, а тоа се:

1. Потребни информации за видот на влакната (FIB);

2. Содржината на опасни материи (HAZ) - во текот на овие процеси на обработка на отпадот можно е отстранување на опасните материи. Како резултат на ризиците за работната средина неопходно е да се подготват различни типови на заштита;
 3. Податоци за содржината, типот и локацијата на присутните метални компоненти (MET);
 4. Големина на отпадот (SZE).
3. Објаснете ги методите коишто се користат за третман на композитниот отпад?
Методите коишто можат да се применуваат за третман на композитниот отпад се поделени во следниве групи:
- повторна употреба;
 - механичко рециклирање на материјалите;
 - обновување на енергијата;
 - рециклирање на материјалите и енергијата или хемиско обновување.

10.16.5. Литература References

European Communities EU (2001) "Environment 2010: Our Future, Our Choice", 6th EU Environment Action Programme 2001-2010, ISBN 92-894-0261-X.

Global composites (2005) <http://www.globalcomposites.com/>. Посетено на 14.11.2010.

Lingg B, Villiger S (2002) Energy and Cost Assessment of a High Speed Ferry in a Life Cycle Perspective. Master Thesis report. Department of Aeronautics, KTH.

Ever J. Barbero (1999) Introduction of Composite Materials Design. Taylor & Francis Group.

Krishan K. Chawla (1998) Composite Materials-Science and Engineering, Second Edition. Springer-Verlag New York Inc.

Hedlund-Astrom A, Olsson K A (1998) A comparative LCA Study on a Boat Structure. Proceedings of the Fourth International Conference on Sandwich Construction K-A Olsson, EMAS Publishing, 1998.

Baumann H, Boons F, Bragd A (2002) Mapping the green product development field: engineering, policy and business perspective. J Clean Prod 10: 409-425.

Schmidt S, Handels B (2004) Eco efficiency of SMC parts. 4th Automotive Seminar – New Challenges in Automotive, 10-11 February, 2004, Bremen, .

Satish V Joshi, Drzal L T, Mohanty A K (2004) Are Natural Fiber Composites Environmentally Superior to Glass Fiber Reinforced Composites?. Compos Part A-Appl S 35: 371-376.

Council directive (1999) Council directive 99/31/EC on the landfill of waste.

Astrom B T (1997) Manufacturing of Polymer Composites. Chapman & Hall, London, UK.

Henshaw J M, Han W, Owens A D (1996) An Overview of Recycling Issues for Composite Materials. J Thermoplas Compos 9: 5-20.

Simmons J (1999) Recycling thermoset composites. Reinforced plastics 43: 64-65.

Derosa R, Telfeyan E, Mayes J S (2005) Current State of the Recycling SMC and related Materials. J Thermoplas Compos, 18: 219-241.

Marsh G (2001) Facing up to the recycling challenge. Reinforced plastics 45: 22-26.

Hedlund-Astrom A, Reinholdsson P, Luttrupp C (2004) Outline of guidelines for recycling and recovery of FRP-composites. Proceedings from the TMCE 2004, Lausanne, Switzerland.

SMC (2005) <http://www.smc-alliance.com/>. Посетено на 21.09.2010.

Clift R (1998) Relationships Between Environmental Impacts and Added Value Along the Supply Chain. 2nd International Conference on Technology Problem and Innovation, Lisboa 1998.

Weaver A (1994) Telekom Approves Green SMC. Reinforced Plastic 38: 28-29.

Weaver A (1995) Mecerlec adds recycling to complete loop. Reinforced Plastic 39: 36-38.

Derosa R, Telfeyan E, Mayes J S (2005a) Strength and Microscopic Investigation of Unsaturated Polyester BMC Reinforced with SMC – Recyclate. J Thermoplas Compos 18: 333-349.

Sarasua J R, Pouyet J (1997) Recycling effects on microstructure and mechanical behaviour of PEEK short carbon-fibre composites. J Mater Sci 32: 533-536.

Tornsten A, Olsson K A (1993) Recycling of FRP-sandwich structures. International Workshop on Environmentally Compatible Materials and Recycling Technology, 15 - 16 November, AIST, Tsukuba Research Center, Japan, 1993.

Hedlund-Astrom A., Olsson K.A (1997) Recycling and LCA Studies of FRP-Sandwich structures. Proceedings of the Second North European Engineering and Science Conference – Composites and Sandwich Structures. EMAS Ltd, Stockholm, 1997.

Cunliffe A M, Williams P T (2003) Characterisation of products from the recycling of glass fibre reinforced polyester waste by pyrolysis. Fuel Vol. 82: 2223-2230.

De Marco I et al. (1997) Recycling of the Products Obtained in the Pyrolysis of Fibre-Glass Polyester SMC. J Chem Tech Biotechnol 69: 187-192.

Torres A (2000) Recycling by pyrolysis of thermoset composites: characteristics of the liquid and gaseous fuels obtained. Fuel 79: 897-902.

Cunliffe A M, Jones N, Williams P T (2003) Pyrolysis of Composite Plastic Waste. Environmental Technology 24: 653-663.

Henshaw J M, Han W, Owens A D (1996) An Overview of Recycling Issues for Composite Materials. J Thermoplas Compos 9: 5-20.